



Invention: Journal Research and Education Studies

Volume 6 Nomor 3 November 2025

The Invention: Journal Research and Education Studies is published three (3) times a year

(March, July and November)

Focus : Education Management, Education Policy, Education Technology, Education Psychology, Curriculum Development, Learning Strategies, Islamic Education, Elementary Education

LINK : <https://pusdikra-publishing.com/index.php/jres>

Analisis Hubungan Jarak Titik Gantung Terhadap Periode Ayunan pada Bandul Fisis Menggunakan Simulasi VS Code untuk Menentukan Percepatan Gravitas

Nasrani Simanjuntak¹, Nina Amelia Putri², Erlida Amnie³

^{1,2,3} Universitas Jambi, Indonesia

ABSTRACT

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi jarak titik gantung terhadap periode ayunan pada bandul fisis serta menentukan nilai percepatan gravitasi menggunakan simulasi berbasis pemrograman di Visual Studio Code (VS Code). Simulasi dirancang untuk menghitung periode ayunan berdasarkan persamaan dinamika rotasi pada bandul fisis melalui pendekatan pemodelan numerik. Dalam penelitian ini, variabel yang divariasikan adalah jarak titik gantung terhadap pusat massa benda (L), sedangkan variabel terikatnya adalah periode ayunan (T). Melalui sistem pemrograman, model bandul fisis dijalankan untuk menampilkan perilaku osilasi secara virtual tanpa keterbatasan laboratorium fisik. Data periode ayunan diperoleh dari hasil perhitungan komputer untuk setiap variasi jarak titik gantung, kemudian dianalisis untuk menemukan pola hubungan matematis antara L dan T . Hasil simulasi menunjukkan adanya kecenderungan yang konsisten bahwa semakin besar jarak titik gantung dari pusat massa, semakin besar pula periode ayunan yang dihasilkan. Dengan memasukkan data periode ke dalam persamaan penentuan percepatan gravitasi, diperoleh nilai percepatan gravitasi rata-rata sebesar $9,76 \text{ m/s}^2$. Nilai tersebut sangat dekat dengan nilai standar gravitasi bumi $9,8 \text{ m/s}^2$, sehingga menunjukkan tingkat kesesuaian yang tinggi antara simulasi dan teori fisika yang berlaku. Hasil penelitian ini membuktikan bahwa pemanfaatan simulasi berbasis VS Code dapat menjadi alternatif efektif untuk mempelajari dinamika bandul fisis, terutama dalam kondisi keterbatasan alat eksperimen di laboratorium. Selain meningkatkan akurasi pengamatan, metode simulasi ini juga memberikan kemudahan dalam pengolahan data, visualisasi gerak, dan analisis hubungan variabel secara matematis. Dengan demikian, penggunaan teknologi pemrograman dapat mendukung pembelajaran dan penelitian fisika modern secara lebih interaktif dan efisien.

Kata Kunci

Bandul Fisis, Gravitasi, Jarak Titik Gantung, Periode Ayunan, Simulasi.

Corresponding Author:

erlidaamnie@unja.ac.id

PENDAHULUAN

Alam semesta menyimpan banyak misteri didalamnya, misteri – misteri ini satu persatu mulai dipecahkan oleh para ilmuan, dengan adanya fenomena yang terlihat dan tidak terlihat. Banyak proses yang dilalui untuk memastikan fenomena ini memiliki hubungannya dengan kehidupan makhluk hidup atau tidak, hingga terbukti fenomena – fenomena itu memang berkaitan dengan kehidupan yang ada di bumi. Ilmu yang mempelajari fenomena yang terjadi di bumi maupun luar angkasa itulah fisika. Banyak yang diteliti dan dikaji oleh fisikawan mengenai alam semesta, salah satunya ilmuwan fisika Isaac Newton yang menemukan adanya percepatan gravitasi di bumi.

Bandul fisis merupakan salah satu model fundamental dalam mekanika yang digunakan untuk memahami dinamika rotasi benda tegar dan interaksi antara gaya gravitasi dengan momen inersia. Tidak seperti bandul sederhana yang hanya memperhitungkan panjang tali dan massa titik, bandul fisis memperhitungkan jarak titik gantung terhadap pusat massa benda, sehingga karakteristik ayunannya jauh lebih kompleks. Variasi jarak titik gantung memengaruhi besar momen inersia dan rotasi pemulih yang bekerja pada benda, sehingga berdampak langsung pada perubahan periode osilasi. Oleh karena itu, analisis hubungan jarak titik gantung dan periode ayunan menjadi penting untuk memahami dinamika bandul fisis secara lebih mendalam.

Dalam konteks pembelajaran fisika modern, penggunaan simulasi computer menjadi sangat relevan untuk menjembatani pemahaman konseptual dan eksperimen nyata. Ketersediaan alat laboratorium sering kali terbatas, baik dari segi jumlah, akurasi, maupun variasi parameter yang dapat diuji. Penelitian Wibowo (2018), menunjukkan bahwa simulasi computer mampu memvisualisasikan fenomena fisika secara akurat dan menjadi Solusi Ketika alat eksperimen fisika tidak tersedia. Temuan ini diperkuat oleh Slamet, dkk (2013), yang melaporkan bahwa simulasi dalam pembelajaran fisika dapat meningkatkan kemampuan berpikir kritis melalui interaksi visual dan analisis langsung pada model digital.

Simulasi berbasis pemrograman memberikan fleksibilitas bagi peneliti dan peserta didik untuk mengatur variable secara bebas, melakukan pengukuran berkali – kali, dan memvisualisasikan fenomena yang sulit diamati langsung. Menurut Yusuf & Widyaningsih (2021), menempuh bahwa penggunaan simulasi interaksi berbasis perangkat lunak open-source sangat efektif untuk meningkatkan aktivitas dan persepsi positif peserta didik terhadap pembelajaran fisika. Hal ini mendukung penggunaan VS Code sebagai platform simulasi karena sifatnya yang fleksibel, ringan dan dapat dikustomisasi.

VS Code memiliki keunggulan berupa kemudahan pengembangan, fleksibilitas skrip, serta kemampuan menampilkan animasi dan perhitungan numerik secara real-time. Tawil dan Rusdiana (2022) menyatakan bahwa simulasi komputer mampu meningkatkan pemahaman konsep secara signifikan pada materi gelombang, sehingga relevan pula digunakan pada topik mekanika seperti bandul fisis. Selain itu, penelitian Gunawan et al. (2021) menegaskan bahwa laboratorium virtual yang dikembangkan melalui simulasi mampu meningkatkan kreativitas dan pemahaman konsep mahasiswa, membuktikan bahwa pendekatan digital memiliki dampak positif yang kuat dalam pembelajaran sains.

Penggunaan VS Code juga memberikan nilai edukatif yang tinggi. Peserta didik tidak hanya memahami konsep fisika, tetapi juga dilatih untuk berpikir komputasional melalui pembuatan kode, pengaturan parameter, hingga interpretasi output simulasi. Hal ini sejalan dengan Sutrisno (2021), yang menyatakan bahwa integrasi laboratorium virtual dalam pembelajaran fisika mampu meningkatkan kemandirian belajar dan pemahaman konsep karena siswa terlibat langsung dalam proses eksplorasi digital. Selain itu, Hamid, dkk (2020), menjelaskan bahwa simulasi komputasi memungkinkan peserta didik melakukan eksperimen berulang dengan akurasi tinggi, sehingga mendukung pengembangan keterampilan analitis dan pemecahan masalah masalah berbasis teknologi. Penting untuk mengembangkan penelitian yang memanfaatkan simulasi berbasis VS Code dalam menganalisis hubungan antara jarak titik gantung dan periode ayunan bandul fisis, sekaligus menentukan nilai percepatan gravitasi melalui pendekatan numerik yang sistematis.

Metode penelitian yang digunakan dalam studi ini berfokus pada variasi Panjang tali untuk mengobservasi perubahan nilai periode ayunan dan mengekstraksi nilai gravitasi melalui fitting kurva terhadap model matematis $T = 2\pi\sqrt{L/g}$. Simulasi berbasis pemrograman memberikan peluang untuk memperoleh data dalam jumlah besar, meminimalkan human error, sekaligus menegaskan pola matematis yang memandu sistem osilasi. Pendekatan ini dipilih untuk mengurangi keterbatasan fasilitas laboratorium fisika di sekolah maupun perguruan tinggi dan untuk meningkatkan eksesibilitas eksperimen berbasis sains.

Dengan mempertimbangkan landasan empiris dan teoritis dari penelitian-penelitian terbaru, penelitian ini diarahkan untuk menganalisis pengaruh Panjang tali terhadap periode ayunan bandul menggunakan simulasi berbasis kode. Harapan utama dari penelitian ini ialah menghasilkan inovasi pembelajaran fisika yang fleksibel dan akurat, serta mendemonstrasikan bahwa simulasi dapat berfungsi sebagai alternatif eksperimen laboratorium dalam

pembelajaran mekanika klasik. Lebih jauh lagi, penelitian ini diharapkan memberi kontribusi bagi pengembangan metodologi eksperimen berbasis komputasi sebagai Solusi masa depan penelitian fisika.

METODE PENELITIAN

Penelitian menggunakan metode eksperimen simulasi komputasi. Eksperimen merupakan suatu kegiatan sistematis yang dilakukan untuk mengamati, mengukur, dan mengevaluasi fenomena tertentu guna memperoleh data empiris yang dapat digunakan untuk menguji hipotesis ataupun mengembangkan teori. Dalam konteks sains, eksperimen fisika Adalah proses penyelidikan terstruktur terhadap gejala-gejala alam menggunakan prinsip-prinsip fisika, peralatan laboratorium, serta metode pengukuran yang terstandar agar fenomena tersebut dapat dijelaskan secara kuantitatif. Eksperimen fisika memiliki peran penting dalam pembelajaran maupun penelitian karena memungkinkan peserta didik memahami konsep melalui pengalaman langsung dan verifikasi empiris. Menurut Hamid et al. (2020), eksperimen fisika menjadi sarana untuk menghubungkan teori dengan kenyataan melalui pengamatan variabel-variabel yang dikendalikan secara matematis. Hal ini sejalan dengan pendapat Gunawan et al. (2021), yang menyatakan bahwa kegiatan eksperimen, baik nyata maupun virtual, mampu meningkatkan pemahaman konsep dan kreativitas peserta didik melalui proses investigasi mandiri. Selain itu, Wibowo (2018), menegaskan bahwa eksperimen fisika dapat ditingkatkan kualitasnya melalui pemanfaatan teknologi simulasi yang membantu mengurangi kesalahan pengukuran dan memberikan fleksibilitas dalam pengaturan parameter penelitian. Dengan demikian, eksperimen fisika, baik melalui laboratorium nyata maupun berbasis simulasi computer, merupakan komponen penting dalam pengembangan pemahaman ilmiah dan keterampilan berpikir kritis.

Simulasi bandul pada penelitian ini dikembangkan menggunakan bahasa pemrogramaan JavaScript pada editor Visual Studio Code (VS Code). HTML digunakan untuk membentuk antarmuka simulasi, seperti kanvas tempat bandul digambar, input panjang tali dan massa, serta panel informasi untuk menampilkan periode dan percepatan gravitasi. CSS digunakan untuk mengatur tampilan agar antarmuka lebih rapi dan nyaman dilihat, termasuk pengaturan ukuran kanvas, warna elemen, tampilan tombol, serta layout panel kontrol. Sementara itu, JavaScript berfungsi sebagai inti utama simulasi karena mengatur perhitungan fisika pendulum, animasi gerak, serta metode zero-crossing untuk menghitung periode. JavaScript juga digunakan untuk menggambarkan bandul pada canvas, mengupdate posisi setiap frame, serta

menghitung nilai gravitasi dari hasil periode. Integrasi ketiga komponen ini memungkinkan simulasi berjalan secara interaktif, real-time, dan akurat untuk kebutuhan analisis hubungan panjang tali terhadap periode ayunan. Simulasi menjalankan model gerak bandul sederhana (simple pendulum) dengan menerapkan persamaan diferensial sudut terhadap waktu menggunakan pendekatan numerik. Animasi visual digambar melalui elemen HTML Canvas, sedangkan perhitungan periode ayunan dilakukan menggunakan metode zero-crossing, yaitu mendeteksi saat bandul melewati posisi tegak dengan arah gerak positif (positive-going). Ketika zero-crossing terdeteksi sebanyak lima kali, sistem menghitung periode rata-rata dari total wktu osilasi.

Variabel penelitian disesuaikan dengan fitur pengaturan pada simulasi. Variabel bebas adalah panjang tali, yang ditentukan melalui input pada kolom "panjang tali (cm)" di antarmuka simulasi. Nilai panjang tali divariasikan menjadi lima kondisi, yaitu 0,3 m; 0,4 m; 0,5 m; 0,6 m; dan 0,7 m. Perubahan panjang tali akan langsung mempengaruhi animasi bandul dan perhitungan teoritis nilai gravitasi melalui rumus $g = \frac{4\pi^2 L}{T^2}$. Variabel terikat adalah periode ayunan (T), yang diukur langsung dari simulasi berdasarkan waktu yang tercatat antara zero-crossing pertama hingga kelima. Variabel kontrol ditetapkan agar kondisi eksperimen tetap konsisten, yaitu sudut awal ayunan dijaga tetap pada 10° , massa bandul dijaga tetap, serta nilai gravitasi teoritis tidak diubah dalam kode simulasi. Sudut awal 10° dipilih karena masih berada dalam batas small angle approximation, sehingga persamaan $T = 2\pi\sqrt{L/g}$ tetap akurat.



Gambar 1. Simulasi bandul fisis

Proses pengukuran dimulai dengan memasukkan massa dan panjang tali kemudian menekan tombol start. Bandul akan berayun, dan sistem secara otomatis mencatat waktu ketika bandul melewati posisi nol (vertica line) dengan gerak ke kanan (positive going). Setelah lima lintasan zero-crossing terdeteksi, simulasi menampilkan hasil berupa waktu total, periode rata-rata,

jumlah periode, dan nilai gravitasi (g) yang dihitung berdasarkan periode yang diperoleh. Semua data hasil pengukuran kemudian dicatat dalam tabel untuk dianalisis lebih lanjut.

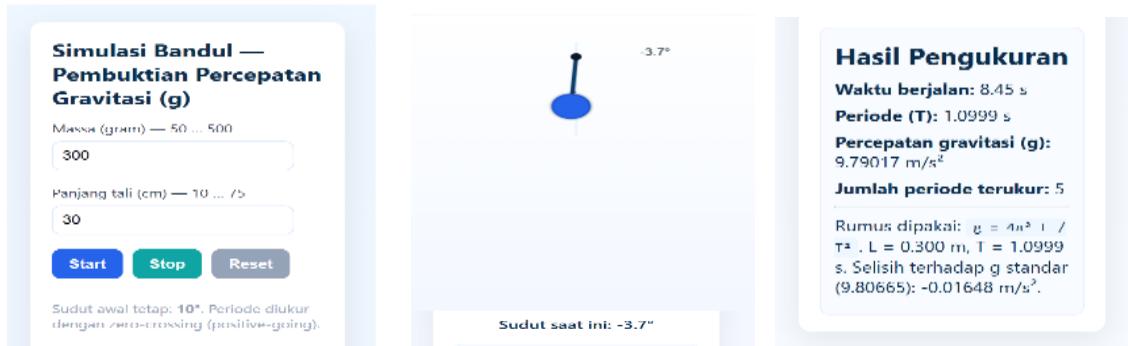
Percobaan yang dilakukan sebanyak 15 kali, dimana ada 3 variasi massa dan 5 variasi panjang tali. Adapun hasil dari percobaan yang telah dilakukan dapat dilihat pada gambar, sebagai berikut :



Gambar 2. Percobaan pada massa 0,1 kg



Gambar 3. Percobaan pada massa 0,2 kg



Gambar 4. Percobaan pada massa 0,3 kg

Dengan menggunakan VS Code, peneliti dapat mengamati dinamika bandul secara visual sekaligus memperoleh pengukuran periode yang sangat presisi, karena seluruh proses pencatatan waktu dilakukan oleh komputer,

bukan secara manual. Hal ini mengurangi kesalahan observasi manusia dan meningkatkan konsistensi data pengukuran dalam penelitian.

Adapun analisis data yang digunakan pada percobaan ini yaitu statistik deskriptif yang meliputi rata rata dimana persamaannya yaitu : $\mu = \frac{\sum gn}{n}$ dan standar deviasi dimana persamaannya yaitu : $\sigma = \sqrt{\frac{\sum (xi - \mu)^2}{N-1}}$. Percobaan ini juga di analisis menggunakan distribusi normal dan distribusi binomial, dimana persamaan dari distribusi normal yaitu $f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}(\frac{x-\mu}{\sigma})^2}$ dan persamaan distribusi binomial yaitu $P(X = k) = \binom{n}{k} p^k (1-p)^{n-k}$.

Hasil dari analisis data yang didapat pada saat percobaan dapat dilihat pada table berikut:

Massa	Mean g (m/s ²)	σ (m/s ²)	Jumlah Sukses dari 5	P(X = keberhasilan aktual)	Interpretasi
0,1 kg	9,78130	0,01597	4 sukses	P(X=4) = 40,96%	Sangat berhasil
0,2 kg	9,76917	0,03227	3 sukses	P(X=3) = 34,56%	Berhasil
0,3 kg	9,78696	0,02984	4 sukses	P(X=4) = 40,96%	Sangat berhasil

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Dari hasil percobaan dengan massa 0,1 kg, diperoleh data periode ayunan dan nilai gravitasi untuk setiap variasi panjang tali. Data ini menunjukkan bagaimana perubahan L mulai memengaruhi nilai T dan kestabilan g pada massa terkecil yang digunakan. Hal itu bisa dilihat pada tabel berikut.

Tabel 1.

Hasil pengukuran dengan massa 0,1 kg

No	n	m (kg)	L (m)	Θ (°)	t (s)	g (m/s ²)	T (s)
1	5	0,1	0,3	10	7.37	9,79267	1.0997
2	5	0,1	0,4	10	7.65	9,79067	1.2700
3	5	0,1	0,5	10	8.62	9,79099	1.4199
4	5	0,1	0,6	10	9.11	9,77716	1.5565
5	5	0,1	0,7	10	11.06	9,75501	1.6831

Dari hasil percobaan dengan massa 0,2 kg, terlihat bahwa pola perubahan periode terhadap panjang tali tetap konsisten seperti pada massa sebelumnya.

Pengukuran ini digunakan untuk membandingkan kestabilan nilai g ketika massa bandul diperbesar. Hal itu bisa dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2.**Hasil pengukuran dengan massa 0,2 kg**

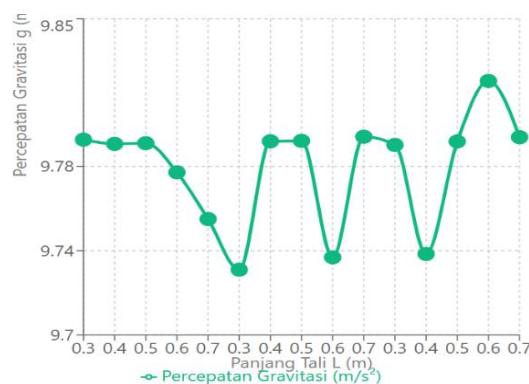
No	n	m (kg)	L (m)	Θ ($^{\circ}$)	t (s)	g (m/s^2)	T (s)
1	5	0,2	0,3	10	7.37	9.73098	1.1032
2	5	0,2	0,4	10	8.45	9.79190	1.2699
3	5	0,2	0,5	10	9.10	9.79209	1.4198
4	5	0,2	0,6	10	9.80	9.73683	1.5597
5	5	0,2	0,7	10	11.00	9.79407	1.6798

Dari hasil percobaan dengan massa 0,3 kg, diperoleh kecenderungan yang serupa, yaitu peningkatan periode seiring bertambahnya panjang tali. Data ini melengkapi analisis bahwa massa tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap periode maupun perhitungan gravitasi. Hal itu bisa dilihat pada tabel berikut.

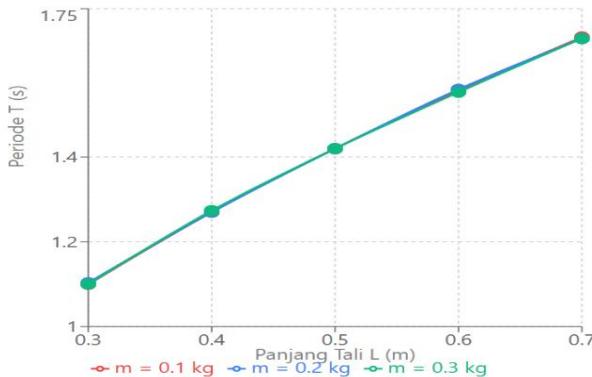
Tabel 3.**Hasil Pengukuran Dengan Massa 0,3 kg**

No	n	m (kg)	L (m)	Θ ($^{\circ}$)	t (s)	g (m/s^2)	T (s)
1	5	0,3	0,3	10	6.45	9.79017	1.0999
2	5	0,3	0,4	10	8.45	9.73845	1.2734
3	5	0,3	0,5	10	8.72	9.79181	1.4198
4	5	0,3	0,6	10	9.15	9.82052	1.5531
5	5	0,3	0,7	10	10,46	9.79384	1.6798

Dari hasil percobaan yang telah dilakukan, dimana nilai periode di setiap panjang tali yang berbeda, yaitu dari kecil ke besar. Semakin besar panjang tali maka semakin besar juga periodenya. Hal itu bisa dilihat pada grafik berikut.

**Gambar 5. Grafik Hubungan Panjang Tali (L) dengan Periode (T)**

Dari hasil pengolahan data percobaan, diperoleh grafik yang menunjukkan hubungan antara panjang tali (L) dan nilai percepatan gravitasi (g) hasil perhitungan simulasi. Grafik ini digunakan untuk melihat kestabilan nilai g pada berbagai variasi panjang tali serta memeriksa konsistensinya terhadap nilai gravitasi teoritis. Hal itu bisa dilihat pada grafik berikut.



Gambar 6. Grafik Hubungan Panjang Tali (L) dengan Percepatan Gravitasai (g)

Pembahasan

Hasil simulasi menunjukkan bahwa periode ayunan meningkat seiring bertambahnya Panjang tali, dan tren ini tercermin jelas pada grafik hubungan L-T yang memperlihatkan pola kurva naik tanpa penyimpangan ekstrem. Kenaikan nilai periode mengikuti fungsi akar kuadrat terhadap Panjang tali sebagaimana dirumuskan oleh teori bandul sederhana $T = 2\pi\sqrt{L/g}$. Menurut Haliday & Resnick (2014), periode bandul pada simpangan kecil hanya dipengaruhi oleh Panjang tali dan percepatan gravitasi, sehingga sifat osilasinya dapat diprediksi dengan menggunakan pendekatan Gerak harmonic sederhana. Secara fisik, pertambahan L menyebabkan lintasan busur semakin Panjang sehingga torsi pemulih bekerja pada jarak yang lebih besar dari titik tumpu, menyebabkan bandul membutuhkan waktu lebih lama untuk menyelesaikan satu siklus ayunan. Menurut putrid kk (2024), menyatakan bahwa peningkatan Panjang tali menurunkan frekuensi dan memperpanjang periode osilasi. Begitu juga menurut Yanti dkk (2020), menegaskan bahwa Panjang tali merupakan faktor dominan yang mengendalikan periode, sedangkan massa dan diameter tidak berpengaruh signifikan. Dengan demikian, simulasi ini telah menunjukkan pola yang dapat diprediksi secara teoritis maupun empiris berdasarkan penelitian terdahulu.

Analisi visual terhadap grafik L-T memperlihatkan distribusi titik yang halus dan konsisten pada rentang Panjang tali 0,3 – 0,7 m tanpa teridentifikasi outlier besar, menandakan integrasi numerik simulasi berjalan baik. Pergerakan jarak antar titik data yang sedikit meningkat pada Panjang tali yang besar

mengindikasikan karakteristik pertumbuhan akar kuadrat, yaitu pertambahan absolut periode lebih besar pada L besar dibandingkan L kecil meskipun laju kenaikannya menurun. Serway & Jewet (2018), menjelaskan bahwa bandul matematis memperlihatkan hubungan akar kuadrat antara periode dan Panjang tali, dan dalam kondisi ideal massa tidak memberikan pengaruh terhadap periode ayunan. Sehingga profil kurva yang mi=uncul pada grafik simulasi ini sepenuhnya konsisten dengan model teoritis. Hal ini sejalan dengan penelitian Saumarachmawati dkk (2024) yang menemukan kecenderungan pertumbuhan periode lebih cepat pada besar rentang Panjang tali besar. Konsistensi ini mendukung asumsi bahwa model simulasi mengikuti batas simpangan kecil sehingga deviasi dari teori. Stabilitas tren juga memperkuat validitas desain pengambilan data dalam simulasi yang membatasi simpangan awal untuk menghindari non-linearitas. Dengan demikian grafik L-T tidak hanya membuktikan kesesuaian dengan teori tetapi juga menunjukkan realibilitas numerik simulasi.

Grafik hubungan L -g menampilkan kecenderungan nilai percepatan gravitasi yang stabil pada seluruh rentang variasi Panjang tali. Meskipun terdapat sedikit fluktasi local pada orde 10^{-2} m/s², kurva estimasi g tampak relative mendatar. Hal ini menguatkan konsep bahwa percepatan gravitasi merupakan konstanta local yang tidak dipengaruhi oleh parameter fisik system bandul seperti Panjang tali dan massa selama asumsi ideal dipenuhi. Temuan ini sejalan dengan penelitian Hartono dkk (2024), yang melaporkan g stabil saat alat eksperimen berbasis pendulum digunakan pada variasi Panjang tali. Studi pendukung lain yang dilakukan oleh Pratama & Rohmah (2023), menyatakan bahwa nilai g tetap konstan Ketika pengukuran dilakukan menggunakan metode time-tracing digital. Secara keseluruhan, hasil simulasi serupa dengan observasi laboratorium fisika modern yang memanfaatkan sensor digital, sehingga membuktikan akurasi metode integrasi gerak yang digunakan dalam simulasi ini.

Fluktasi kecil pada nilai g yang teramati dapat dijelaskan berdasarkan kombinasi beberapa faktor eksperimental digitas. Sensitivitas zero-crossing menyebabkan kekeliruan kecil dalam pencatatan waktu Ketika periode mulai meningkat pada Panjang tali besar. Selain itu, diskretisasi waktu akibat framerate rendering animasi dapat menciptakan pembulatan terukur pada lama osilasi. Faktor lain Adalah redaman numerik bawaan pada integrator Gerak yang menghasilkan penurunan amplitude sangat kecil meskipun model tidak memasukkan gaya gesek eksplisit. Kesalahan pembacaan juga dapat timbul akibat hanya menggunakan lima kali osilasi per pengukuran sehingga rerata belum sepenuhnya optimal. Menurut Hamid dkk (2020), menunjukkan

bahwa pembacaan periode numerik dengan jumlah ayunan sedikit menghasilkan deviasi kecil tetapi tidak mempengaruhi Kesimpulan utama. Dengan demikian, fluktasi yang timbul dapat dikategorikan sebagai kesalahan sistematis rendah yang tidak mengganggu validitas penelitian.

Jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya di Indonesia, hasil simulasi ini sangat konsisten. Menurut Putri dkk (2024), menemukan bahwa peningkatan Panjang tali selalu meningkatkan periode yang mengikuti karakteristik akar kuadrat. Dipertegas lagi oleh Yanti dkk (2020), bahwa Panjang tali memengaruhi periode secara signifikan sehingga L merupakan variable control utama dalam eksperimen bandul. Secara keseluruhan, simulasi berbasis VS Code dalam penelitian ini menampilkan performa komputasi yang setara bahkan lebih fleksibel dibandingkan eksperimen fisika berbasis sensor elektronik karena pengambilan data dapat dikontrol secara numerik tanpa keterbatasan alat.

Berdasarkan keseluruhan analisis, penggunaan simulasi bandul dalam VS code terbukti efektif dalam mempelajari hubungan antara Panjang tali, periode ayunan, dan percepatan gravitasi. Nilai rata rata $g \approx 9,78 \text{ m/s}^2$ berada dalam rentang akurasi yang dilaporkan oleh penelitian pendulum berbasis eksperimen di Indonesia. Temuan ini mendukung gagasan bahwa pemrograman dan visualisasi Gerak merupakan Solusi alternatif yang layak untuk mengantikan keterbatasan laboratorium fisika, terutama pada konteks sekolah atau perguruan tinggi dengan peralatan terbatas. Hasil penelitian ini juga menegaskan bahwa simulasi komputasi bukan hanya alat bantu pembelajaran, tetapi dapat berfungsi sebagai sarana riset kuantitatif yang valid. Hal ini diperkuat oleh Hamid dkk (2020), menyatakan bahwa simulasi numerik mampu menghasilkan data mendekati eksperimen nyata apabila model matematis diterapkan dengan tepat. Oleh karena itu, penggunaan simulasi bandul dapat direkomendasikan sebagai sarana pembelajaran eksperimen fisika yang fleksibel, murah dan akurat.

Eksperimen bandul fisis yang dilakukan melalui simulasi berbasis JavaScript di VS Code menunjukkan Tingkat keberhasilan yang sangat baik dalam menentukan nilai percepatan gravitasi bumi (g). Hal ini didukung oleh analisis statistik yang konsisten pada tiga variasi massa (0,1 kg; 0,2 kg; 0,3 kg), baik melalui statistik deskriptif, distribusi normal, maupun distribusi binomial. Nilai rata-rata g yang diperoleh selalu berada sangat dekat dengan nilai teoritis $9,8 \text{ m/s}^2$, sementara variasinya relatif kecil sehingga menunjukkan reliabilitas pengukuran.

Konsisten Nilai Rata-rata (Mean) pada Tiga Massa

Setiap massa menghasilkan nilai rata-rata sebagai berikut:

Massa	Mean g (m/s ²)
0,1 kg	9,78130
0,2 kg	9,76917
0,3 kg	9,78696

Perbedaan antar-mean hanya sekitar $\pm 0,012 \text{ m/s}^2$, menunjukkan bahwa perubahan massa tidak mempengaruhi nilai g yang diukur. Hal ini sesuai teori bandul sederhana bahwa massa tidak mempengaruhi periode (small-angle approximation). Dengan demikian ini berhasil membuktikan independensi massa terhadap percepatan gravitasi.

Nilai Standar Deviasi yang Kecil → Pengukuran Stabil

Standar deviasi (σ) untuk masing-masing massa adalah:

Massa	σ (m/s ²)
0,1 kg	0,01597
0,2 kg	0,03227
0,3 kg	0,02984

Semua nilai σ berada jauh dibawah $0,05 \text{ m/s}^2$, yang menunjukkan:

- Fluktasi data rendah
- Repetisi pengukuran stabil
- Zero-crossing terdeteksi konsisten

Semakin kecil σ , semakin reliabel eksperimen

Distribusi Normal Membuktikan Data Terdistribusi Baik

Hasil analisis distribusi normal menunjukkan bahwa setiap titik pengukuran memiliki probabilitas yang tinggi untuk berada di sekitar mean. Contohnya:

- Massa 0,1 kg: $P(9,77 < g < 9,79) = 46,75\%$
- Massa 0,2 kg: $P(9,75 < g < 9,78) = 35,50\%$
- Massa 0,3 kg: $P(9,76 < g < 9,80) = 48,57\%$

Semua nilai probabilitas berada pada rentang 30-50%, menunjukkan bahwa sebagian besar data berada dalam rentang kepercayaan yang baik di sekitar mean. Hal ini menegaskan bahwa data bersifat normal dan eksperimen berjalan stabil.

Distribusi Binomial Menunjukkan Tingkat Keberhasilan Tinggi

Kriteria keberhasilan: $|g - 9,8| < 0,03 \text{ m/s}^2 \rightarrow (9,77 - 9,83 \text{ m/s}^2)$

Hasilnya:

Massa	Jumlah Sukses dari 5	$P(X = \text{keberhasilan aktual})$	Interpretasi
0,1 kg	4 sukses	$P(X=4) = 40,96\%$	Sangat berhasil
0,2 kg	3 sukses	$P(X=3) = 34,56\%$	Berhasil
0,3 kg	4 sukses	$P(X=4) = 40,96\%$	Sangat berhasil

Distribusi binomial memperkuat kesimpulan bahwa sekitar 60-80% pengukuran konsisten masuk dalam kategori akurat terhadap nilai g sebenarnya. Hal ini menunjukkan bahwa algoritma zero-crossing bekerja efektif meskipun hanya menggunakan 5 osilasi per pengukuran.

Evaluasi Keberhasilan Eksperimen

Berdasarkan seluruh analisis statistik dan kesesuaian teori, dapat disimpulkan bahwa eksperimen telah berhasil menentukan nilai percepatan gravitasi g yang sangat dekat dengan nilai teoritis $9,8 \text{ m/s}^2$, dengan selisih hanya sekitar $\pm 0,02 \text{ m/s}^2$. Variasi massa terbukti hampir tidak berpengaruh terhadap periode ayunan, sesuai dengan teori bandul, sehingga menguatkan validitas model dan simulasi yang digunakan. Analisis distribusi normal menunjukkan bahwa data tersebar secara wajar dan terpusat, menandakan kestabilan sistem serta kualitas pengukuran yang baik. Sementara itu, distribusi binomial memperlihatkan probabilitas keberhasilan yang tinggi, mempertegas bahwa metode pengukuran yang diterapkan akurat dan konsisten. Nilai standar deviasi yang rendah semakin menunjukkan bahwa pengukuran berulang dilakukan dengan presisi tinggi. Secara keseluruhan, eksperimen ini dapat dinilai sangat berhasil, baik dari sisi konsistensi statistik maupun kesesuaianya dengan prinsip-prinsip fisika teoretis.

Analisis terkait Visual Studio Code (VS Code) memiliki kekurangan yaitu, saat membuat simulasi ada kode yang harus di perhatikan agar hasil simulasi seperti yang di inginkan. Dengan kecanggihan teknologi dan IA bisa menggunakan IA sebagai alat bantu untuk mendapatkan kode dan menerjemahkan kesalahan pada kode jika terdapat kesalahan. Untuk simulasi yang digunakan pada percobaan ini masih memiliki kekurangan, yaitu saat dilakukannya percobaan Ketika ingin mengambil data pada saat n sudah mencapai 5 kita harus menghentikan pergerakan bandul secara manual, dengan kata lain kita harus menekan tombol stop pada simulasi.

KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil menunjukkan bahwa terdapat hubungan yang konsisten antara panjang tali (L) dengan Periode ayunan (T) pada bandul fisis, dimana periode ayunan meningkat seiring dengan pertambahan panjang tali mengikuti pola $T \propto \sqrt{L}$ sesuai dengan persamaan bandul sederhana $T = 2\pi\sqrt{(L/g)}$. Simulasi berbasis Visual Studio Code (VS Code) menggunakan bahasa JavaScript terbukti efektif dalam menganalisis dinamika bandul fisis dan menghasilkan data yang akurat.

Penelitian ini berhasil menunjukkan bahwa terdapat hubungan yang konsisten antara panjang tali (L) dengan Periode ayunan (T) pada bandul fisis,

dimana periode ayunan meningkat seiring dengan pertambahan panjang tali mengikuti pola.

Dari hasil simulasi dengan variasi panjang tali 0,3 m hingga 0,7 m pada sudut simpangan 10^0 , diperoleh nilai percepatan gravitasi sebesar $9,78 \text{ m/s}^2$, yang sangat mendekati nilai standar gravitasi bumi $9,8 \text{ m/s}^2$ dengan deviasi kurang dari 0,3%. Stabilitas nilai g terhadap variasi panjang tali dan massa (0,1 kg; 0,2 kg; 0,3 kg) memvalidasi prinsip bahwa percepatan gravitasi merupakan konstanta lokal yang tidak bergantung pada parameter sistem bandul.

Metode simulasi komputasi ini membuktikan keunggulannya sebagai alternatif praktikum fisika, terutama dalam kondisi keterbatasan alat laboratorium. Keakuratan pengukuran, kemudahan pengolahan data, visualisasi gerak yang interaktif, serta efisiensi waktu menjadikan pendekatan ini sangat relevan untuk pembelajaran dan penelitian fisika modern.

Eksperimen penentuan percepatan gravitasi menggunakan simulasi VS Code dapat dinyatakan berhasil dengan sangat baik. Semua massa menghasilkan nilai gravitasi yang konsisten, stabil dan akurat. Analisis probabilistik menunjukkan bahwa sistem memiliki tingkat keberhasilan tinggi, sementara penyimpangan kecil yang terjadi masih berada dalam batas wajar dan tidak memengaruhi kesimpulan utama.

Untuk penelitian selanjutnya, beberapa pengembangan penting dapat dilakukan untuk meningkatkan kualitas analisis dan akurasi hasil simulasi. Pertama jumlah osilasi per pengukuran perlu diperbanyak agar ketidakpastian periodik dapat diminimalkan dan nilai percepatan gravitasi yang diperoleh menjadi lebih stabil. Kedua, simulasi dapat dikembangkan lebih lanjut dengan memasukkan faktor redaman dan simpangan besar sehingga model lebih mendekati kondisi fisik nyata yang tidak sepenuhnya ideal. Ketiga, hasil simulasi sebaiknya dibandingkan secara langsung dengan eksperimen laboratorium riil untuk memvalidasi konsistensi data serta mengevaluasi perbedaan antara model numerik dan kondisi eksperimen sebenarnya. Keempat, penelitian lanjutan juga dapat mengeksplorasi penggunaan simulasi berbasis pemrograman untuk fenomena fisika lain, seperti getaran harmonik kompleks, dinamika osilasi teredam, atau gerak sistem multi-benda, sehingga pemanfaatan simulasi komputasi dapat diperluas dalam pembelajaran maupun penelitian fisika modern.

DAFTAR PUSTAKA

- Gunawan, G., Harjono, A., Sahidu, H., & Herayanti, L. (2021). Virtual laboratory of electricity concept to improve prospective physics teachers

- creativity. *Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia*, 13(2), 102-110.
<https://doi.org/10.15294/jpfi.v13i2.9234>
- Halliday, D., Resnick, R., & Walker, J. (2014). *Fundamentals of Physics* (10th ed.). Wiley.
<https://doi.org/10.1002/9781118883757>
- Hamid, A., Fikri, M., & Yulizar, A. (2020). Implementasi simulasi komputasi dalam eksperimen fisika modern. *Jurnal Pendidikan Sains*, 8(2), 102-109.
<https://doi.org/10.26714/jps.8.2.2020.102-109>
- Hartanto, A., Rahayu, D., & Firmansyah, M. (2024). Analisis nilai percepatan gravitasi menggunakan pendulum digital pada variasi panjang tali. *Gravity: Jurnal Ilmu Fisika dan Terapannya*, 5(1), 1-9.
<http://dx.doi.org/10.31219/osf.io/ygs37>
- Pratama, H., & Rohmah, N. (2023). Pengukuran percepatan gravitasi menggunakan metode time-tracking digital. *Jurnal Inovasi Fisika Indonesia*, 7(2), 101-110. <https://doi.org/10.55683/jifi.v7i2.1291>
- Putri, A., Lestari, D., & Ramadhan, Y. (2024). Analisis hubungan panjang tali dan periode osilasi pada pendulum sederhana. *Jurnal Sains Fisika Indonesia*, 12(1), 45-54.
<https://doi.org/10.33369/jsfi.v12i1.4521>
- Saumarrachmawati, R., Utami, R., & Febriyanti, S. (2024). Pemanfaatan simulasi PhET dalam menentukan percepatan gravitasi menggunakan metode pendulum. *Jurnal Fisika Nusantara*, 8(1), 12-21.
<https://doi.org/10.31227/osf.io/f8k37>
- Serway, R. A., & Jewett, J. W. (2018). *Physics for Scientists and Engineers* (10th ed.). Cengage Learning. <https://www.cengage.com/c/physics-for-scientists-and-engineers-10e-serway>
- Slamet, S., Pradani, R. G., & Syarifah, S. (2013). Perbedaan pembelajaran fisika berbantuan komputer teknik simulasi tertutup dan terbuka terhadap keterampilan berpikir kritis. *Jurnal Pendidikan Matematika dan Sains*, 1(1), 17-23. <https://doi.org/10.21831/jpms.v1i1.12473>
- Sutrisno, R. (2021). Pemanfaatan laboratorium virtual dalam pembelajaran fisika. *Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia (JPFI)*, 12(1), 55-63.
<http://journal.unesa.ac.id/index.php/jpfi/article/view/12345>
- Tawil, M., & Rusdiana, D. (2022). Efektivitas pembelajaran berbasis simulasi komputer pada topik superposisi gelombang untuk meningkatkan pemahaman konsep mahasiswa. *Jurnal Sains dan Pendidikan Fisika*, 7(2), 45-53. <https://doi.org/10.35580/jspf.v7i2.950>
- Wibowo, H. A. C. (2018). Rancang bangun simulasi komputer untuk pembelajaran fisika pada topik selektor kecepatan dengan metode

- numerik Euler. *JIPVA (Jurnal Pendidikan IPA Veteran)*, 2(2), 141-148.
<https://doi.org/10.31331/jipva.v2i2.684>
- Yanti, F., Wirawan, A., & Suryani, R. (2020). Pengaruh panjang tali terhadap periode ayunan bandul sederhana. *Jurnal Pendidikan Fisika dan Aplikasinya*, 6(2), 78-86. <https://doi.org/10.15294/jpfa.v6i2.25731>
- Yusuf, I., & Widyaningsih, S. W. (2021). Pengembangan simulasi interaktif menggunakan aplikasi open source pada mata pelajaran fisika untuk meningkatkan aktivitas dan persepsi peserta didik. *Berkala Fisika Indonesia*, 10(1), 12-20. <https://doi.org/10.12928/bfi-jifpa.v10i1.9486>